

基于 CFD 的密闭式半阶梯 笼养蛋种鸡舍过渡性通风研究

江晓明^{1,2} 张衍林¹ 张兴广³ 黄丽²
李芳环² 汪靖² 李辉² 李敏²

1.华中农业大学工学院,武汉 430070; 2.武昌工学院机械工程学院,武汉 430065;
3.湖北峪口禽业有限公司,荆州 434020

摘要 针对密闭式半阶梯笼养蛋种鸡舍春秋季节的过渡性通风方式,采用计算流体力学(computational fluid dynamics,CFD)技术,根据鸡舍实测值所确定的风机、侧窗等边界条件,对该蛋种鸡舍内的环境温度和气流速度的分布进行三维数值模拟。模拟时设置白天室外环境温度为25℃,晚上室外环境温度为13℃,2种温度下分别设置多个侧窗导流板角度。模拟结果表明:侧窗导流板与壁面的倾角明显影响了鸡舍内速度场和温度场的均匀性,白天导流板开启角度 $\alpha=67.5^\circ$,晚上导流板开启角度 $\alpha=45^\circ$ 时更加合理。通过鸡舍现场采集关键位置的风速和温度数据与仿真结果比较发现,风速测试值与模拟值相对误差白天平均为14.7%,晚上平均为11.5%;温度测试值与模拟值相对误差白天平均为3.1%,晚上平均为3.6%;表明数值模拟与现场实测有较好的吻合度,为密闭式半阶梯笼养蛋种鸡舍过渡性通风方式下的环境控制提供理论依据和指导。

关键词 CFD 模拟; 密闭式蛋种鸡舍; 过渡性通风; 半阶梯式鸡笼; 温度控制

中图分类号 S 831; S 23-0 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2017)06-0113-08

温度和空气风速是影响鸡健康的重要因素^[1]。纵向通风和侧窗横向通风一体化鸡舍作为一种标准化建筑形式^[2-3],在国内外大型蛋种鸡养殖领域中得到了广泛的推广和应用,并取得了良好的效果。尤其是春秋季节的过渡期通风方式填补了冬季最小通风和夏季纵向通风之间所存在的缺陷,有效地解决了春秋季节既要对鸡舍进行通风降温又要避免鸡群受冷应激的矛盾。然而即便如此,舍内气流分布不均匀、白天高温、晚上低温等现象一直是环境控制技术的难题。计算流体力学(computational fluid dynamics,CFD)是基于计算机技术的一种数值计算工具,克服了传统理论分析法在对象简化和计算求解方面的不足,突破了试验过程中人力物力消耗以及试验周期长等因素限制^[4]。近年来,研究人员采用CFD方法对猪舍、牛舍、鸡舍的建筑尺寸和形状、湿帘的尺寸和布局、风机的个数和分布等因素对舍内环境温度和空气风速的分布规律进行了三维数值模拟^[5-10]。相关分析结果为温度场和空气流场的试验

性研究提供了理论依据。李文良等^[10]通过CFD技术对密闭式平养鸡舍纵向通风进行的研究表明,导流板与壁面的倾角明显影响了舍内气流分布的均匀性。笔者所在课题组围绕密闭式蛋鸡舍的通风、降温系统进行过一些理论研究工作^[11-12]。本研究以湖北峪口禽业有限公司1.58万只规模的密闭式半阶梯笼养蛋种鸡舍为研究对象,对侧窗的导流板与壁面所成的夹角在过渡季节的情况下分白天和晚上两种状态进行数值模拟分析,以期为密闭式半阶梯笼养蛋种鸡舍过渡性通风系统的设计提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 过渡性通风原理

通过安装在鸡舍末端的负压风机进行排风,关闭鸡舍前端为纵向通风而设计的进风口,使空气从鸡舍侧墙上方的进风口进入鸡舍,进入鸡舍的气流(如图1)会沿棚顶到达鸡舍的高处,在下降的过程中会被逐渐加热,当到达鸡群所处高度时温差变得很

小。为了达到舍内目标温度值,可根据该温度值确定风机及进风口的开启数量和进风口开启角度的大小。

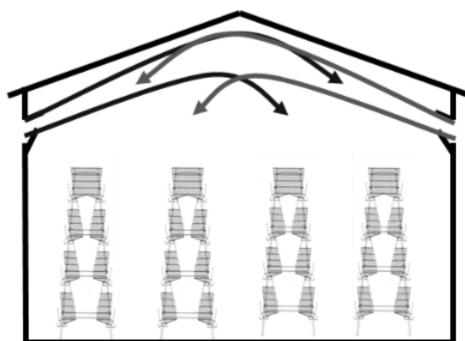


图1 过渡性通风原理

Fig.1 Transitional ventilation principle

1.2 密闭鸡舍原型

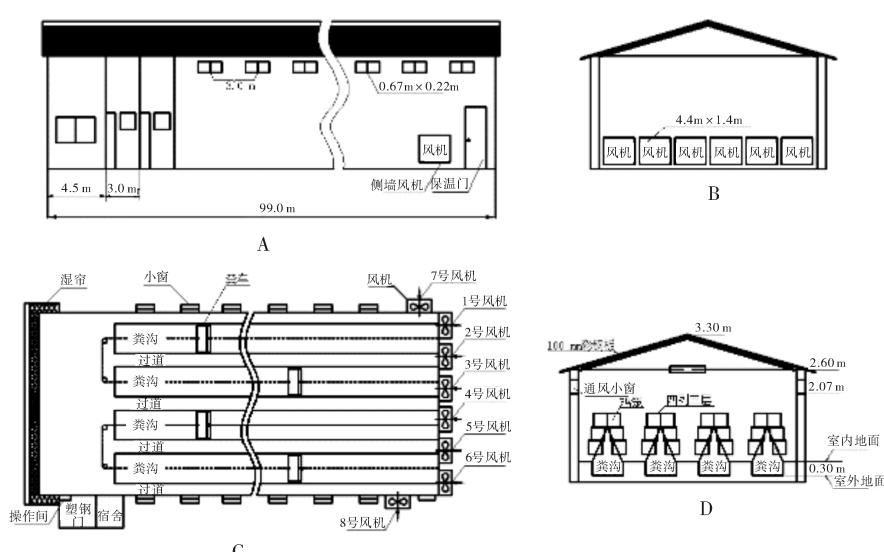
本研究模拟的密闭式半阶梯笼养蛋种鸡舍原型位于中国华中地区($N30^{\circ}37'$, $E112^{\circ}05'$),鸡舍相关参数主要包括鸡舍建筑参数、鸡舍内部设备参数、鸡舍建筑材料参数等方面。通过参考文献[2]和现场测量,鸡舍建筑及其内部主要参数见表1。鸡舍采用的是“三层四列”养殖模式,即鸡舍内部布置4列鸡笼,每列鸡笼分上、中、下3层,饲养规模为1.58万只。鸡舍主要结构图及尺寸如图2所示。2014年10月,笔者所在课题组对湖北峪口禽业有限公司3栋鸡舍的舍外昼夜温度以及舍内昼夜温度进行了连续1个月的测量并记录。舍内温度取鸡舍中部区

域,纵向垂直面上测量点分布见图3,室外温度测试点取距鸡舍5 m外的开阔处,所测温度参见图4。

表1 密闭鸡舍建筑主要参数

Table 1 Main parameters of the closed henhouse

鸡舍参数 Parameters of henhouse	参数值 Parameter values	鸡舍参数 Parameters of henhouse	参数值 Parameter values
总长/m Overall length	90	两边过道/m Aisle	0.95
总宽/m Overall width	12	粪沟宽度/m Fecal furrow width	1.5
墙高/m Wall height	2.7	粪沟坡度/% Fecal furrow slope	0.15
檐高/m Eaves height	1.1	小窗长/mm Fenestella length	670
前过道/m Front aisle	2.5	小窗宽/mm Fenestella width	220
后过道/m Back aisle	1.5	小窗间距/m Fenestella spacing	3.0
中间过道/m Middle aisle	1.1	屋顶形式 Roof mode	双坡 Gable roof
柁架数 Frame girder	18	宿舍长度/m Dorm length	3.0
单列组数 Group number	42	风机数量 Fan number	8
通风方式 Ventilation mode	负压通风 Subatmospheric pressure	水帘面积/m ² Cooling pad area	40.0
风机尺寸/m ² Fan size	2	笼离地/cm Coop from the ground	10



A:鸡舍侧面示意图 Side view of henhouse; B:鸡舍前立面示意图 Front view of henhouse; C:鸡舍内部俯视图 Interior elevation view of henhouse; D:鸡舍横向剖面示意图 Cross sectional view of henhouse.

图2 密闭鸡舍结构示意图

Fig.2 Structure diagram of closed henhouse

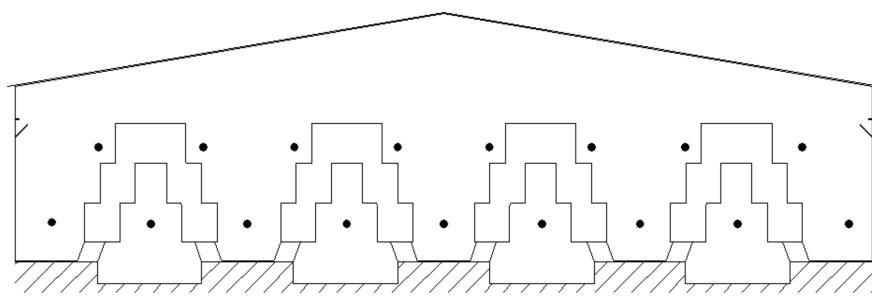


图 3 测点布置简图

Fig.3 Test point layout diagram

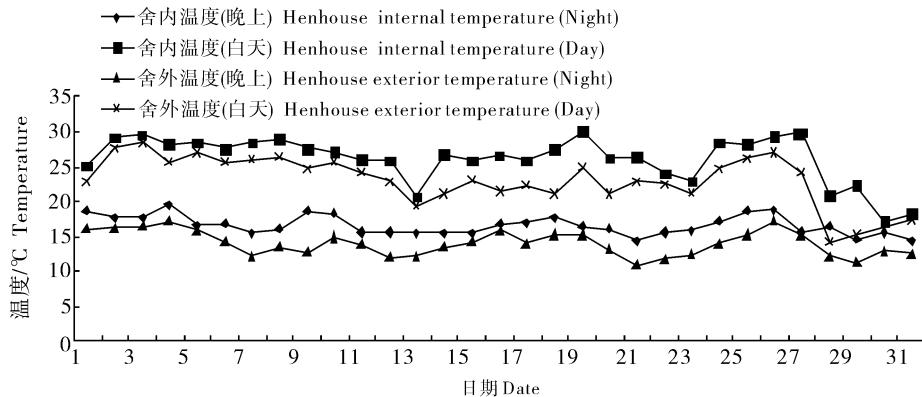


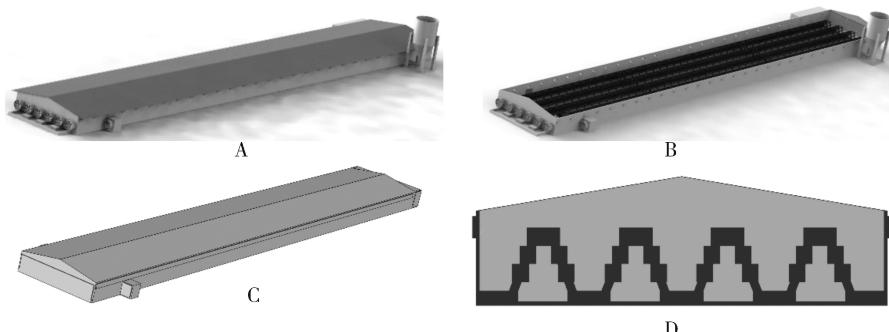
图 4 密闭鸡舍内外温度测量

Fig.4 Inside and outside temperature measurement of closed henhouse

1.3 几何模型

1) 鸡舍模型。密闭式半阶梯笼养蛋种鸡舍用三维 CAD 软件建模时采用 1:1 比例创建(图 5A)。将舍内 4 条养殖线简化成 4 条形状规则的实心几何体(图 5B)。为了提高 CFD 的运行效率,对模型进

行了合理简化(图 5C),其纵向断面图如图 5D 所示。将圆形风机出口简化成正方形出口,省略食槽、喂料清粪设备以及鸡舍外部相关实体,整个鸡舍的气体均设为空气,并设置舍内空气为不可压缩的理想气体。



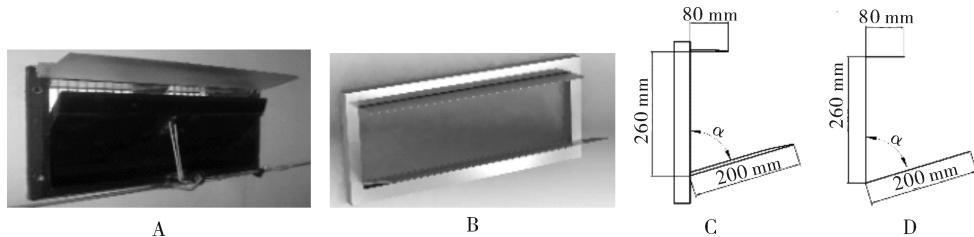
A: 鸡舍外部模型 Outside model; B: 鸡舍内部模型 Inside model; C: 鸡舍外部简化模型 Simplified outside model; D: 简化模型横向切面图 Cross section of the simplified model.

图 5 鸡舍模型的简化过程

Fig.5 Henhouse model simplification process

2) 侧墙导流板模型。侧墙的横向通风口设置为矩形,通风口在鸡舍两侧呈对称状态,其中每侧分别安装 28 个矩形通风窗和导流板。模拟时只考虑有

效的进风面积,进风口原型、模型示意图、剖面图如图 6 所示,其中 α 为导流板与壁面的夹角, α 的取值范围为 $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ 。



A: 导流板原型 Prototype of the guide plate; B: 导流板 CAD 模型 CAD model of the guide plate; C: 导流板横向切面图 Cross section of the guide plate; D: 导流板简化模型 Simplified model of the guide plate.

图 6 导流板模型

Fig.6 Guide plate model

3) 网格划分。采用非结构化四面体网格, 经过

网格无关性检测, 确定最大网格尺寸为 266 mm, 网格划分时, 对进风口区域进行单独划分, 风机、导流板等局部网格最大尺寸为 32 mm。

4) 数学模型。密闭鸡舍舍内流场中气体的流动要遵循的物理定律包括质量守恒定律、动量守恒定律、能量守恒定律^[14]。在养殖领域中, 空气可以作为不可压缩气体。

连续性方程简化为:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

动量方程:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \rho g_i + F_i$$

$$\tau_{ij} = \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] - \frac{2}{3} \mu \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \delta_{ij} \quad (2)$$

能量方程:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho h) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i h) &= \frac{\partial}{\partial x_i}(k + k_t) \frac{\partial T}{\partial x_i} + s_h \\ \frac{\partial}{\partial t}(\rho h) &= \frac{\partial}{\partial x_i} \left(k \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) + \dot{q} \end{aligned} \quad (3)$$

紊流粘性系数:

$$\begin{aligned} \mu_t &= \rho l^2 S \\ l &= \min(kd, 0.09d_{\max}) \end{aligned}$$

$$S = \sqrt{2S_{ij}S_{ij}} \quad S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (4)$$

式中 p 为静压力, N/m^2 ; τ_{ij} 为应力张量, N/m^2 ; g_i 为 i 方向因重力引起的体积力, N/m^3 ; μ 为动力粘性系数, $\text{Pa} \cdot \text{s}$; F_i 为其他源项; k 为分子运动产生导热系数; k_t 为湍流所致的导热系数; T 为温度, $^\circ\text{C}$; S_h 为热源项, 可以是任何体积热源, W/m^3 ; \dot{q} 为内热源, W/m^3 ; μ_t 为紊流粘性系数, $\text{Pa} \cdot \text{s}$; l 为混合长度, m ; d 为离墙的距离, m ; S 为平均应变力张量之模。

1.4 边界条件

1) 侧窗入口。模拟时将侧窗入口设为压力入口。环境压力取标准大气压, 将白天环境温度设置为 25 $^\circ\text{C}$, 晚上温度设置为 13 $^\circ\text{C}$ 。

2) 清粪口入口。模拟时将清粪口设为压力入口。环境压力取标准大气压, 将白天环境温度设置为 25 $^\circ\text{C}$ 。晚上由于一般没有清粪要求, 清粪口关闭, 故将其设置为壁面。

3) 风机出口。参考针对湿帘风机降温系统在鸡舍中的配置^[11]和密闭式鸡舍通风存在的问题及解决措施^[12], 对于密闭式鸡舍, 在温度比较高的情况下, 要达到良好的通风降温效果, 要求最大的排风能力为每分钟更换 1 次。舍内鸡舍长 90 m, 宽 12 m, 高 3.8 m(其中檐高 2.7 m), 饲养规模 15 800 只, 则 1 s 内需要的换气量可以通过经验公式^[12]计算。

$$\begin{aligned} V &= L \times B \times h + \frac{B \times (H-h)}{2} \times L \\ &= [90 \times 12 \times 2.7 + \frac{12 \times (3.8-2.7)}{2} \times 90] / 60 \\ &= 58.5 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

式中, V 为鸡舍体积, m^3 ; L 为鸡舍长度, m ; B 为鸡舍宽度, m ; H 为鸡舍高度, m ; h 为鸡舍檐高, m 。

风机出口设置为速度出口, 则出口速度为:

$$v = \frac{V}{S} = \frac{58.5}{16} \text{ m/s} = 3.66 \text{ m/s}$$

晚上温度低, 为了减少热量损失, 晚上开启风机的台数为总台数的一半, 不运行的风机进行密封, 模拟时将其设置为壁面。模拟初始化时, 舍内各点的初始速度均设为 0 m/s 。

4) 鸡群散热。将 4 条养殖线模型设置为热源, 鸡的散热主要来源于鸡的体表和呼吸产热, 具体的散热数值受环境温度和鸡体征影响。随着环境温度的变化, 鸡也会对应地发生如改变进食、代谢量变

化,散热机能变化等生理行为。对此,国内外学者作了大量的研究,Wachenfelt 等^[15]研究发现鸡舍内的温度会影响蛋鸡显热的产生。吴庆麟等^[16]通过测定鸡的耗氧并推算出休息代谢率(RMR),根据试验数据分析 RMR 与环境温度、产热量等之间的相关性,导出回归方程,得出了鸡安静状态下代谢率(RMR)与温度的关系。

鸡群总散热量=鸡数量×平均每只质量×单位质量产热量;取图 3 中 10 月 9 日数据进行计算,白天舍内环境温度为 27 ℃,单只鸡平均质量设为 2 kg,该温度下鸡只的单位质量产热量为 9.1 W/kg。则总散热量为: $Q = 15\ 800 \times 2 \times 9.1 = 287\ 560$ W。晚上舍内环境温度为 16 ℃,该温度下鸡只的单位质量产热量为 13.1 W/kg。则总散热量为: $Q = 15\ 800 \times 2 \times 13.1 = 413\ 960$ W。将这两个值作为热源设置参数。

5)其他边界。将舍内墙壁、屋面、地面等均设为壁(wall)边界,壁面温度利用红外线热成像仪现场实测获得,忽略舍内地面、水槽等处的水汽蒸发。

1.5 数值求解

采用 Fluent 软件进行数值求解,选用 RNG k- ϵ 湍流模型,近壁区的模拟采用标准壁面函数,控制方程采用基于有限体积的离散方法,压力-速度耦合选用 SIMPLEC 算法,动量和湍流动能选用二阶迎风离散格式。

2 结果与分析

2.1 气流速度场模拟情况

1)气流速度场白天模拟情况。图 7A-D 是鸡舍外界环境温度为 25 ℃,导流板与壁面倾角 α 分别为 22.5°、45°、67.5°、90°时的纵向垂直面速度分布云图。根据云图可知:除了在导流板附近局部的高速气流之外,舍内纵向垂直面的速度总体随着与风机的距离变大呈梯度分布,纵向中部区域气流组织相对均匀。导流板与壁面倾角 α 的大小对纵向速度梯度的影响不明显。 $\alpha=22.5^\circ$ 时,在垂直面上,两对称气流贴附于天花板形成的射流在天花板最高处汇流,使中间两条养殖线的内侧速度相对较高,远离风机的一端空气几乎不流动,均匀性差。 $\alpha=45^\circ$ 时,在垂直面上,由于导流板角度的变化,对称气流的汇合处降低,使中间两条养殖线的内侧速度相对 $\alpha=22.5^\circ$ 时更加均匀,垂直面上速度死点相对较少,均匀性明显增强。 $\alpha=67.5^\circ$ 时,在垂直面上,随着导流板角度的

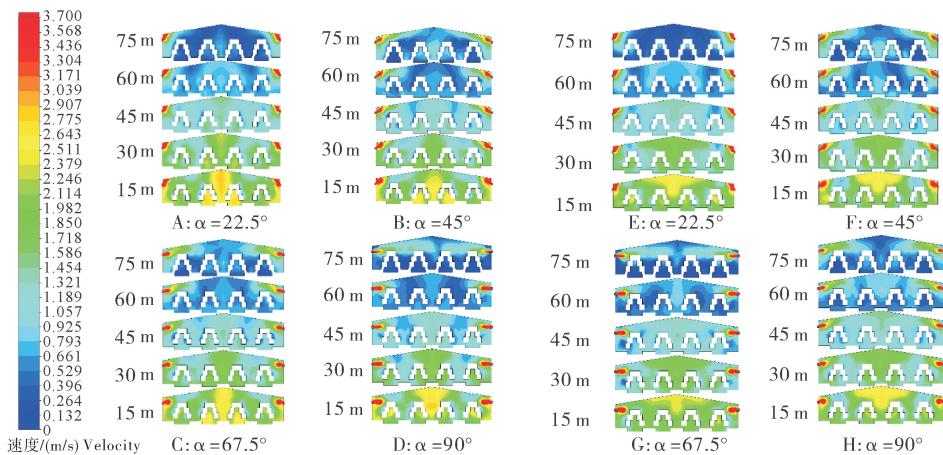
增加,有少部分高速气体直接吹向两侧养殖线的第 3 层鸡笼上,对称气流的汇流处继续降低且趋于模糊,垂直面上气流均匀性与 $\alpha=45^\circ$ 时基本上差不多。 $\alpha=90^\circ$ 时,此时导流板对气流的影响几乎可以忽略,在垂直面上,由于导流板完全打开,侧窗高速气流直接吹向两侧养殖线的第 3 层和部分第 2 层,养殖线上产生局部高速气流。

2)气流速度场夜晚模拟情况。图 7 E-H 是鸡舍外界环境温度为 13 ℃,导流板与壁面倾角 α 分别为 22.5°、45°、67.5°、90°时的纵向垂直面速度分布云图。据云图可知:气流分布和外界环境温度为 25 ℃ 时的气流分布规律基本相同;由于晚上开启风机的台数减少一半;侧窗入口风速减少,舍内风速总体降低,对称气流的汇流对中间两条养殖线内侧影响明显变少。

2.2 温度场模拟情况

1)白天温度场模拟情况。图 8A-D 是导流板与壁面倾角 α 分别为 22.5°、45°、67.5°、90°时的鸡舍纵向垂直面温度场分布云图。根据云图可知粪槽上部区域由于被热源包围温度最高,在不同的纵向垂直面上的温度梯度不明显。 $\alpha=22.5^\circ$ 时,在垂直面上由于对称冷气流在天花板最高处汇流,冷气流在下降过程中被鸡舍内气体加热,当下降到中间两条养殖线的内侧时,降温效果变差,使内侧养殖线温度较高。 $\alpha=45^\circ$ 时,在垂直面上由于导流板角度的变化,对称气流的汇合处降低,冷空气下降过程中加热距离缩短 1 m,下降到中间两条养殖线的内侧时,降温效果相对 $\alpha=22.5^\circ$ 明显,由于白天外界环境温度相对较高,内侧养殖线仍有一部分高温区域。 $\alpha=67.5^\circ$ 时,在垂直面上随着对称冷气流的交汇高度进一步降低,冷气流可以直接进入内侧养殖线区域,降温效果明显。 $\alpha=90^\circ$ 时,由于冷气流一部分直接被两侧养殖线阻挡,使进入内侧养殖线的冷气流变少,中间养殖线内侧降温效果减弱。

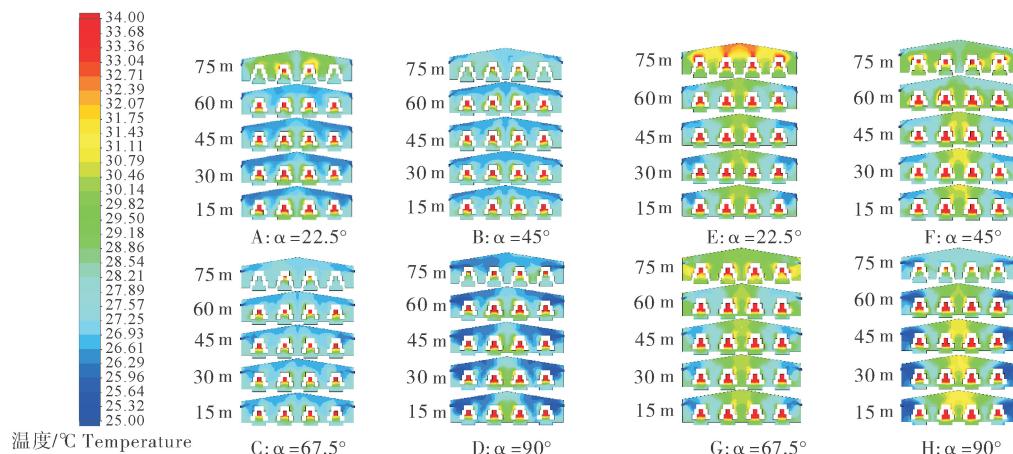
2)夜间温度场模拟情况。图 8E-H 是导流板与壁面倾角 α 分别为 22.5°、45°、67.5°、90°时的纵向垂直面温度场分布云图。由于外界环境温度降低,侧窗入风口的温度由 25 ℃ 降为 13 ℃,此时 $\alpha=22.5^\circ$ 和 $\alpha=90^\circ$ 时温度分布与白天的温度分布规律相同,由于入口的气流温度较低, $\alpha=90^\circ$ 时冷空气会直接吹向第二和第三层鸡笼,严重影响蛋种鸡生产。 $\alpha=45^\circ$ 时,在垂直面上由于入风口的温度较低,冷空气在下降到中间两条养殖线的内侧时,降温效果相



A,B,C,D:白天速度场模拟情况 Air velocity simulation during day; E,F,G,H:夜间速度场模拟 Air velocity simulation during night; 左侧数据为垂直面与风机端面距离 Left view shows the distance of vertical surface and end surface of exhaust fan.

图7 速度场模拟情况

Fig.7 Air velocity simulation during day and night



A,B,C,D:白天温度场模拟情况 Temperature field simulation during day; E,F,G,H:夜间温度场模拟情况 Temperature field simulation during night; 左侧数据为垂直面与风机端面距离 Left view shows the distance of vertical surface and end surface of exhaust fan.

图8 温度场模拟情况

Fig.8 Temperature field simulation during day and night

对白天增强。 $\alpha=67.5^\circ$ 时,均匀性与 $\alpha=45^\circ$ 时相当,但有部分冷空气直接吹向外侧养殖线的第3层

(相对湿度);精度 $\pm 0.2^\circ\text{C}$, $\pm 3\%$ (相对湿度),所有传感器每30 s自动储存1次测试数据,架设在距鸡舍5 m位置的舍外开阔处。

2.3 数值模拟结果验证

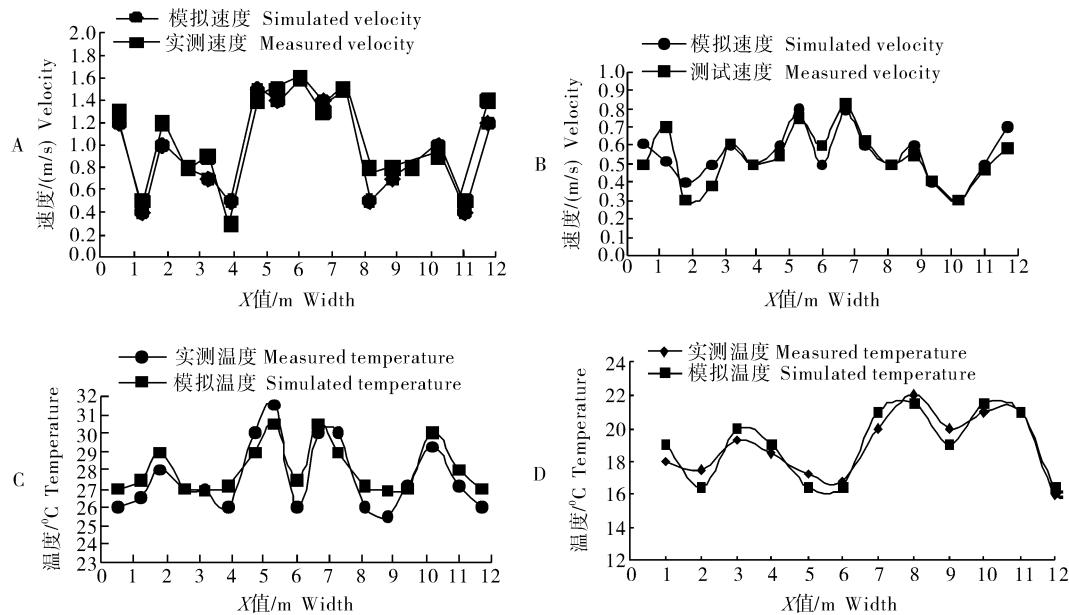
1)现场测试。2014年10月9日对试验鸡舍环境参数进行了现场测试,包括舍内温度和气流速度。风速采用STF30型风速变送器测量并输出信号,由Agilent34970A型数据采集仪自动采集记录,风速变送器的量程为0~10 m/s,精度为 (0.20 ± 0.03) m/s。舍外气象参数测试采用便携式小型自动气象站,可测量的参数包括空气温度、空气相对湿度、风速、风向、太阳辐射。量程 $-40 \sim 100^\circ\text{C}$, $0 \sim 100\%$

2)模拟结果验证。测试点为鸡舍中部垂直面位置,如图3所示。气流速度场和温度场的测量结果与模拟结果的比较如图9所示,17个测点的速度测试值与速度模拟值相对误差的平均值白天14.7%,晚上为11.5%。温度测试值与温度模拟值相对误差的平均值白天为3.1%,晚上为3.6%,说明数值模拟与现场实测有较好的吻合度。

3)误差分析。测试值与分析值的误差产生的原因主要有以下三方面:(1)影响鸡群产热量的因素很

多,在计算鸡群产热量时存在一定的误差;(2)在用三维CAD软件对密闭鸡舍建模时,对养殖线进行

了简化,无法使模拟与实际情况完全一致;(3)测试值存在一定的测量误差。



A:白天速度场 Air velocity of t day; B:晚上速度场 Air velocity of night; C:白天温度场 Temperature field of day; D:晚上温度场 Temperature field of night.

图9 测试值与模拟值比较

Fig.9 Test values compared with the simulation values

3 讨 论

本研究对密闭式半阶梯笼养蛋种鸡舍的过渡性通风方式中的气流速度场和温度场的分布规律进行了CFD数值模拟和现场实测,研究结果表明,导流板的开启角度 α 对鸡舍纵向垂直面上气流的速度分布和温度分布具有比较明显的影响,开启角度 α 过小会在天花板上产生高速射流,导致鸡舍气流组织不均匀,开启角度 α 过大将导致高速气流直接吹到两侧养殖线上,影响蛋鸡生产。白天温度较高(25℃左右)的情况下,导流板开启角度 $\alpha=67.5^\circ$ 时更加合理。晚上温度较低(13℃左右)的情况下,导流板开启角度 $\alpha=45^\circ$ 时更加合理。鸡舍纵向中部区域的内侧养殖线上的气流速度场和温度场相对于鸡舍纵向两端区域更加均匀和稳定。本研究还存在一定的局限性,一是本研究只对4种小窗口导流板开启角度进行了模拟分析;二是小窗的尺寸及其之间的距离会影响鸡舍内的气流速度场和温度场的分布,但由于篇幅原因文中并没有涉及到这方面的分析。

参 考 文 献

- [1] 马承伟,苗香雯.农业生物环境工程[M].北京:中国农业大学出版社,2005.
- [2] 李春红,王广胜.适合中国鸡发展的规模化和标准化鸡舍建设原则[J].中国畜牧杂志,2007,43(24):55-60.
- [3] 王广胜,李春红,汪全生.中国鸡规模化和标准化鸡舍设计模式探讨[J].中国畜牧杂志,2008,44(2):47-51.
- [4] NAHOR H B, HOANG M L, VERBOVEN P, et al. CFD model of the airflow, heat and mass transfer in cool store[J]. International journal of refrigeration, 2005, 28(3):368-380.
- [5] 邓书辉,施正香,李保明,等.低屋面横向通风牛舍空气流场CFD模拟[J].农业工程学报,2014,30(6):139-146.
- [6] 邓书辉,施正香,李保明.低屋面横向通风牛舍温湿度场CFD模拟[J].农业工程学报,2015,31(9):209-214.
- [7] NORTON T, GRANT J, FALLON R, et al. Assessing the ventilation performance of a naturally ventilated livestock building with different eave opening conditions[J]. Computers and electronics in agriculture, 2010, 71(1):7-21.
- [8] BJERG B, SVIDT K, ZHANG G, et al. Modeling of air inlets in CFD prediction of airflow in ventilated animal houses[J]. Computers and electronics in agriculture, 2002, 34(1):223-235.
- [9] 安蕾,樊啟洲,张乘畅.小型油菜籽分层床式干燥设备的数值模

- 拟及其优化[J].华中农业大学学报,2015,34(6):125-129.
- [10] 李文良,施正香,王朝元.密闭式平养鸡舍纵向通风的数值模拟[J].中国农业大学学报,2007,12(6):80-84.
- [11] 江晓明,张衍林,张兴广.湿帘风机降温系统在鸡舍中的配置[J].中国家禽,2014,36(8):54-56.
- [12] 江晓明,孙成浩,张兴广,等.密闭式蛋鸡舍通风存在的问题及解决措施[J].中国家禽,2014,36(17):51-53.
- [13] 王阳,王朝元,李保明.蛋鸡舍冬季 CO_2 浓度控制标准与最小通风量确定[J].农业工程学报,2017,33(2):240-244.
- [14] 李先庭,李晓锋,彦启森.一种求解湿空气温度和相对湿度的CFD 算法[J].暖通空调,2000,30(2):66-68.
- [15] WACHENFELT E V, PEDERSEN S. Release of heat, moisture and carbon dioxide in an aviary system for laying hens[J]. British poultry science, 2001, 42:171-179.
- [16] 吴庆鹏,杨全明,林海,等.环境对蛋鸡气体代谢影响的研究[J].中国畜牧杂志,1993(1):8-10.

CFD-based studies on transitional ventilation of closed henhouse with semi ladder coop

JIANG Xiaoming^{1,2} ZHANG Yanlin¹ ZHANG Xingguang³ HUANG Li²
LI Fanghuan² WANG Jing² LI Hui² LI Min²

1. College of Engineering, Huazhong Agriculture University, Wuhan 430070, China;
2. College of Mechanical Engineering, Wuchang Institute of Technology, Wuhan 430065, China;
3. Hubei Yukou Poultry Company Limited, Jingzhou 434020, China

Abstract The three-dimensional temperature and gas flow fields of transitional ventilation of closed henhouse with semi ladder coop were simulated with CFD software. In the simulation, the outdoor air temperature was 25 °C during the day and 13 °C during the night. The guide plates of side windows were provided with four different angles. Results showed that the angle of guide plate affected the uniformity of gas flow field and temperature field. The optimal angle of guide plates was found. The results of comparing the measured data with simulation showed that the relative error of gas velocity was 14.7% during the day and 11.5% during the night. The relative error of the temperature was 3.1% during the day and 3.6% during the night. The numerical simulation is in good agreement with the field measurement. It will provide a theoretical basis and guidance for the environmental control of the closed henhouse with semi ladder coop.

Keywords CFD simulation; closed henhouse; transitional ventilation; semi ladder coop; temperature control

(责任编辑:陆文昌)